

# 系统控制漫谈

## 古战场上的力学模型

张伟伟 太原科技大学力学系

古战场上，两军对垒，个人的力量往往会显得微不足道，双方胜负更多取决于指挥官在战场中排兵布阵的方式与指挥能力。如果将双方将士组成的队形视为一个整体，战胜对方的目标就是将对方的队形撕裂，致使对方队形溃散。而一旦队形溃散，命令不通，也就不能协同作战，如果另一方依然保持队形，有序作战，双方胜负就可立见分晓。从力学上来看，作战队形的撕裂过程可以通过建立力学模型，从受力分析的角度讨论队形溃散的力学原理。本文将选择明成祖朱棣在靖难之役中与李景隆对战中的一些典型案例，建立作战双方队形的受力模型，从作战双方队形内部的受力不平衡性，讨论布阵方式与队形撕裂之间的关系，以分析和探讨古战场上排兵布阵背后的力学原理。

### 1. 郑村坝之役的战术思想

郑村坝之役是朱棣在夺取政权中的重要战役。1398年（洪武三十一年）5月朱元璋去世，6月长孙朱允炆即位，七月将周王朱橚贬为庶民并迁至云南；第二年四月，削齐王朱博、湘王朱柏、代王朱桂，其中湘王朱柏为保名节举家自焚，齐王被软禁南京，代王被软禁大同；六月削岷王朱楄，软禁漳州。随后，朱允炆准备对燕王朱棣动手，先派工部侍郎张昺接任北平布政使（相当于市长），谢贵、张信掌北平都指挥使（相当于军区司令），掌管北平军事控制权，又派宋忠率兵三万，镇守屯平、山海关一带，对燕王形成步步紧逼之态<sup>[1,2]</sup>。

1399年（建文元年）七月朱棣发起反抗明朝中央政权的“靖难之役”。朱允炆派遣李景隆率50万大军围攻北平。为增加斗争资本，朱棣亲自前往大宁卫（今内蒙古宁城西）用计骗取宁王朱权的朵颜三卫（有8万人），一个月后返回。当时，李景隆中军驻扎在北京东20里的郑村坝，侍卫马三保提议可先派出一支部队袭扰李景隆中军，同时在两翼埋伏好精锐之师，等到李景隆领兵出战时，两翼迅速出动，左右夹击取胜。朱棣采用马三保提议，连破李景隆7营，城中留守部队出城参战，内外夹攻，大败李景隆。由于战役发生地在郑村坝，马三保被朱棣赐姓郑，他就是我国历史上赫赫有名的郑和<sup>[3,4]</sup>。在古代战役中，诱敌深入、两侧伏兵杀出，然后大获全胜是理想的作战方式。朱棣在作战中一般很少从正面冲击对手，而是常常从对方的侧翼发动突然攻击。兵法云“以正合，以奇胜”，侧翼攻击正是朱棣出奇制胜的法宝，也是朱棣指挥艺术中最大的特点。无论是古代战争，还是现代战争，都在寻求双方力量的不对称性，以压倒性优势战胜敌方。在郑村坝战役中，李景隆虽然有50万大军，但却无法同时加入战斗，朱棣则抓住时机，巧妙利用时间和空间的精准度，在两军内部受力上产生不对称性，在短时间、小范围内创造了优

势从而战胜了李景隆。为了说明朱棣的这种优势，我们将在下一节建立李景隆军内部受力模型，从力学原理上说明朱棣军的优势所在。

## 2. 战斗队形与强度理论

在力学上，研究物体的断裂被称为强度问题，最简单的强度理论是第一强度理论（也称伽利略强度理论），该理论认为当构件内部的应力达到其强度极限时，构件即将发生断裂。每一种材料都存在一个强度极限，当试件内部承受的力达到或超过该强度极限时，材料就会被拉断。战争双方的阵形视为一个整体，一方阵形的撕裂就是强度理论的应用。

在郑村坝战役中，朱棣之所以获胜主要有两个关键点：其一是让李景隆军处于移动中，其二是攻击其两翼，如图 1(a)所示。现在以李景隆军为研究对象，分析其内部受力。在李景隆军中假想有两个假想截面 1 和 2，当军队处于移动中时，前军与后军之间就有了“牵引力”，设为  $F$ ，将攻击李景隆军左右两翼的朱棣军简化为压力  $P$ ，并以军队行进方向为  $y$  方向建立坐标系，如图 1(b)所示。

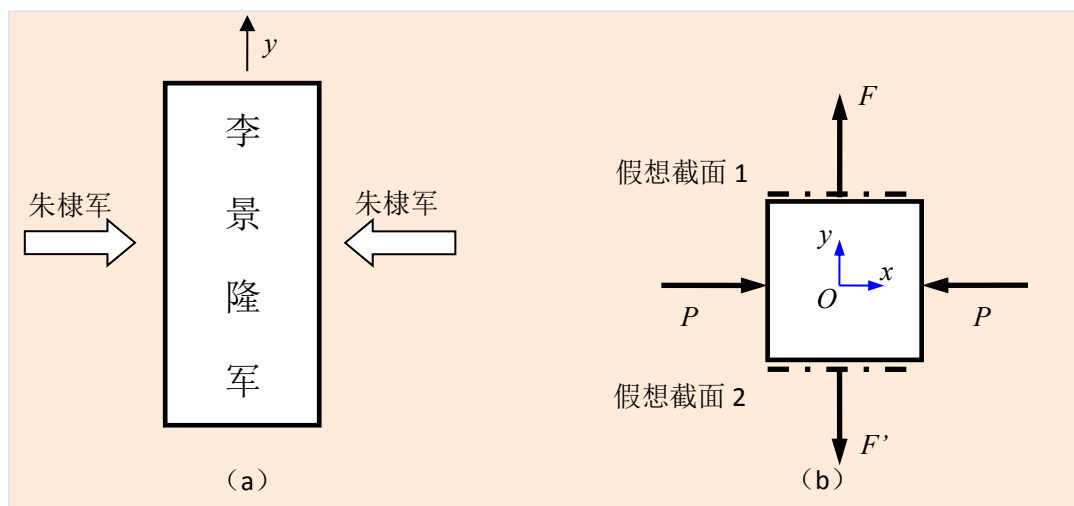


图 1 攻击侧翼的力学模型

以李景隆军为研究对象，“牵引力”  $F$  有使队形拉开的趋势。此时，朱棣军在两翼攻击有挤压力  $P$ ，由于泊松效应，假设泊松比为  $\mu$ ，则压力  $P$  在  $y$  方向产生的拉力为  $\mu P$ ，两者叠加得到李景隆军在  $y$  方向上产生的拉力为：

$$F_{\text{总拉力}} = F + \mu P \quad (1)$$

再以朱棣军为研究对象，根据牛顿第三定律，攻击侧翼的朱棣军受双方等同的挤压力  $P$ 。如果考虑朱棣军内部受力其拉力为：

$$F_{\text{总拉力}} = \mu P \quad (2)$$

比较式(1)和式(2),显然在李景隆军和朱棣军之间,所受内力是不对称的。假使朱棣军和李景隆军所能承受的内力极限相同(强度相同),然而两军所受内力不同,李景隆军自然先行溃散。一旦队形溃散,军队就无法协同作战,必将导致失败。在这场战役中,李景隆眼见战争失利,竟然丢下几十万大军不顾,自己逃回了京师(南京)。

不过战场瞬息万变,进攻方与防守方也没有定式。为了挽回面子,李景隆集结60万大军(号称百万)发起了第二次围剿。朱棣军这次也做出了进攻姿态,在白沟河(今河北雄县、容城、定兴一带)迎击李景隆,但由于李景隆准备充足,首次接触后朱棣军损失惨重。朱棣为了扭转战局,依葫芦画瓢,还想攻击中军侧翼获胜。他先派大将邱福攻击中军(幌子),自己亲率大军绕至李景隆军左翼准备发动攻击。可是万万没想到的是,李景隆竟然以其人之道还治其人之身,在朱棣绕道左翼的同时,李景隆也转向攻击朱棣的侧翼,朱棣军在行进中的“牵引力”和来自李景隆侧翼压力作用下,这次两军内部所受内力依然不对称,不过这次的优势没有偏向朱棣一方,而是偏向李景隆,很快朱棣军队形溃散,大败。

除了侧翼攻击以外,攻击对方队形的尾部也是战场上常见的攻击方式。白沟河战役中,李景隆派遣先锋平安、翟能绕到朱棣军的后军进行猛烈攻击,后军很快崩溃。仍然画出图2所示的力学模型,攻击尾部,相当于在行进队形的尾部施加了拉力,在与前军的牵引力共同作用下,尾部很快就能被撕下来。当然,兵贵神速,如果时间拖得更长,前军如果反应过来,“牵引力”就会减弱,并转化为“挤压力”,将防守变为进攻,到那时平安、翟能可能就占不到什么便宜。

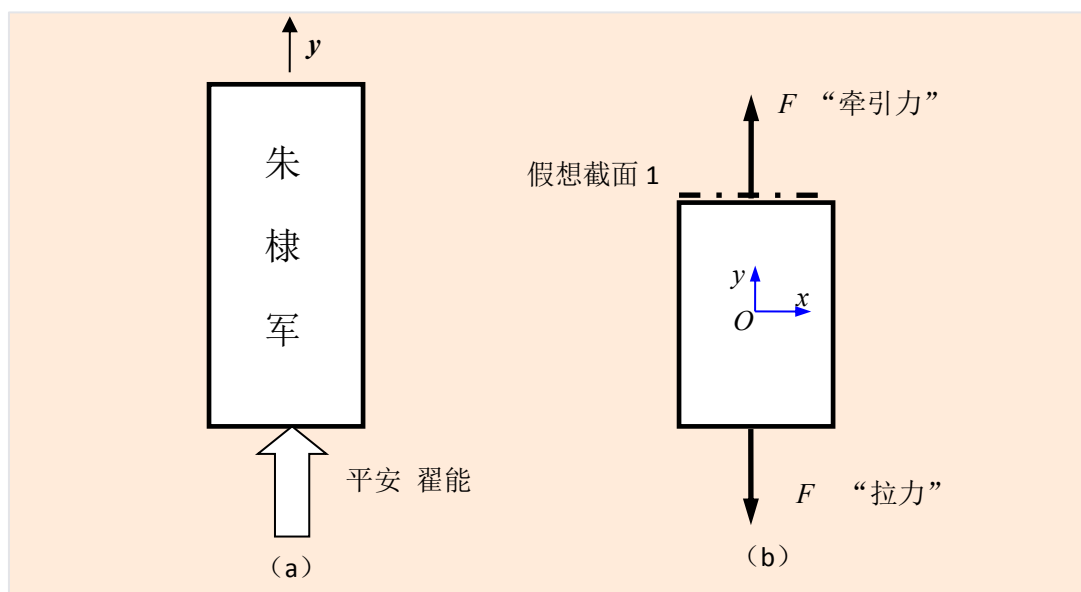
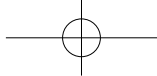


图2 攻击尾部的力学模型



### 3. 常见阵法中的力学模型

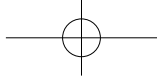
我国古代的各种阵法、阵形，如果抛开各兵种之间的协同，仅从队形上讲，其基本原则依然是“抓住机遇，攻击侧翼”，其本质还是要利用军队行进中的内力，形成敌我双方队形内部受力的不对称性。如常见的进攻阵形鱼鳞阵，其队形呈“三角形”，前端小，后端大。作战时，采用诱敌深入，然后两翼包抄。如果敌人力量较弱时，左右两翼的兵力实施包抄，如果敌人力量较强，后卫部队也可以绕上去包抄。成吉思汗横扫欧洲大陆时喜用鱼鳞阵<sup>[5]</sup>，这在对战欧洲传统方阵时显出了巨大优势。作战时，蒙古军队摆出鱼鳞阵，先让小股部队接敌，不断放箭加以骚扰，等方阵大队前进追击，骚扰部队马上回撤，此时左右两翼的部队迅速从左右两侧攻击，一个又一个方阵就这样被击溃。再如鹤翼阵<sup>[6]</sup>，其布兵方式为，大将位于阵形中后，以重兵围护，左右张开如鹤的双翅。其战术思想是左右包抄，既可用于抄袭敌军两侧，又可合力夹击突入阵型中部之敌，也可以实施包围攻击敌军后翼。

利用不同的力学模型还可以解释其它几种战法的奥秘，如车悬阵，传说为胡服骑射的赵武灵王所创，是一种骑兵冲击战法，将骑兵分为若干方队，并在横向留出空隙让敌军躲避，不至于堵住前军的路，而这些躲避的敌军则留给后边的骑兵收拾，攻击完一波后绕至后军，准备第二次攻击。车悬很像车轮大战，这里虽然没有利用军队行进中的“牵引力”，却似一个巨大的齿轮不断的与敌军接触、磨损，由于己方士兵不断交替轮换可以得到休整，而敌军始终处于应战疲惫状态，这一阵形的战术思想可用疲劳力学模型解释。

方圆阵被认为是一种有效的防守阵形，是方阵与圆阵的综合，由多个方阵组成大圆阵，大将位于阵形中央，外围兵力层层布防，长枪、弓箭在外，机动兵力在内，与优势敌军交战时使用。该阵特点是队形密集，防御力极强。从力学模型来看，圆形在受到外压力时，应力集中程度最低，因此较其它形状更难以压溃。传说该阵由孙臆所创，但孙臆本人没使用过，后由赵国赵括在秦军的包围且已断粮的情况下祭出该阵，以二十多万的赵军组成方圆阵，秦将白起认得此阵，不敢强攻，只死守长平各要道，赵军死守四十多天，后因粮绝而降。

### 4. 结束语

战争的首要目标就是要打造出对垒双方的不对称性，增加获胜的筹码。抛开武器装备，仅以作战队形和作战方式而论，利用队伍行进中的内力，选择攻击点就是利用力学原理创造不对称。大道至简，或许在看似变幻莫测的战场背后，同样也存在着简洁的力学模型。岳飞说：“阵而后战，兵法之常，运用之妙，存乎一心。”<sup>[7]</sup>先列阵后出战，这是兵法之常，但是运用的好坏，全在于是否一心一意。战场瞬息万变，阵法和战法也千变万化，但变必有不变相随，依据力学原理，增加敌方队形的内力，形成敌我双方队形内力的不对称，这或许可以作为“一心”，保持此“心”，并有较强的指挥、实践能力，就可以达到“运用之妙”的效果。



### 参考文献

- [1] 王志强. 明成祖在夺位战争中的游击战术初探[J]. 福建师大福清分校学报, 1992(3): 25-30.
- [2] 当年明月. 明朝那些事[M]. 北京联合出版公司, 2017.5
- [3] 郑自海. 思维与郑和研究[J]. 思维科学通讯, 2013(2):36-36.
- [4] 陈昌旺. 明成祖朱棣的军事思想研究[D]. 云南师范大学, 2013.
- [5] 保宏彪. 成吉思汗六征西夏[J]. 宁夏史志, 2015(6):55-58.
- [6] 风皓烟. 侠客必懂之侠有阵法[J]. 今古传奇(武侠版月末版), 2012(2):130-135.
- [7] 曹京柱. 运用之妙 存乎一心[J]. 学习月刊, 2004(2):39-40.

